

氏 名	おお つか ひろ ゆき 大 塚 寛 之
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3722 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	両面受光型単結晶シリコン太陽電池に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 松 波 弘 之 教 授 鈴 木 実 教 授 野 田 進

論 文 内 容 の 要 旨

単結晶シリコンを用いた両面受光型太陽電池は、実効的に変換効率を高めることが容易であり、多数の試作例が報告されているが、構造の最適化を含め、その体系的な研究は報告されていない。本論文は、両面受光型太陽電池の高効率化に必要な基礎的指針をつくり、両面受光型太陽電池に関わる諸現象を解明して、この太陽電池を実用に供することを目指した研究結果をまとめたもので、10章からなる。

第1章は序論で、本研究の背景、目的を述べている。

第2章では、汎用の太陽電池シミュレータを、マルチスペクトルの光に対してキャリア生成項が計算でき、太陽電池表面および内部反射を考慮して光生成割合が計算できるようにして、三次元解析用に改良している。また、界面準位密度、電子および正孔の衝突捕獲断面積データから、エネルギー準位ごとに再結合割合を計算し、価電子帯から伝導帯にわたって積分する方式に記述を改めている。これにより、キャリア注入量によって表面再結合速度が変えられ、太陽電池特性に最も影響を及ぼす表面再結合割合をより正確にシミュレーションすることに成功している。

第3章では、5つの異なる構造を試作し、その特性を比較して最適構造を決めている。反射防止に役立つテクスチャを酸化膜のみで保護した裏面構造は、裏面からの光照射下において極めて低い短絡電流を示すのに対し、テクスチャを拡散層と酸化膜で覆った構造は、高い短絡電流を示すことを見いだしている。これより、両面接合構造が両面受光型太陽電池にとって有望であることを示している。

第4章では、表面拡散層の有無が特性に大きな影響を与える理由を、表面バンドの曲がりの二次元数値解析により解明している。特に光照射面側において、界面準位密度が $10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 台を上回ると表面電位の影響が大きく現れ、無バイアスの平衡点近傍で特性が大きく劣化する恐れがあることを示している。これは、テクスチャを酸化膜のみで保護した構造に相当する。また、反転層を形成するように表面電位を変化させると、僅かな変化で実効的に表面再結合が抑制できることを示している。これは、テクスチャを酸化膜で保護した構造に n 層を導入すると特性が大きく改善することと符合する。

第5章では両面接合3端子型太陽電池を高効率化するために、二次元、三次元の数値解析により、裏面構造、表面拡散層プロファイルの設計指針を確立している。その結果、(1)ポイントコンタクト構造は電流集中を生じやすく、直列抵抗損が大きい。さらに、短絡電流のコンタクトピッチ、拡散層面積依存性が大きい、(2)高濃度層内に接するコンタクト面積はできる限り小さい方が開放電圧を改善し、変換効率を高める、(3)最小加工寸法によってポイントもしくはラインコンタクト構造を選択する必要があることなどを明らかにしている。一方、太陽電池の高効率化のために、最適な低濃度エミッタ領域のシート抵抗は $300 \Omega/\square$ であることを導き出している。

第6章では、まず、ドット型高濃度エミッタをもつ太陽電池のパワー損失の理論式を導出し、その正当性を数値シミュレーションによって検証している。次に、このパワー損失式を用い、新規提案のドット型コンタクトとライン型高濃度エミッタを組み合わせた構造と、これまでに報告のあるドット型コンタクトとドット型高濃度エミッタを組み合わせた構造を比較検討している。その結果、新提案のエミッタ層のパワー損失が、これまでのエミッタ層のパワー損失より小さいことを明ら

かにしている。

第7章では、確立した指針をもとに設計した両面接合3端子型太陽電池を試作している。その結果、表面光照射下21.3%、裏面光照射下19.8%の、両面受光型として世界最高を示す変換効率を記録している。これは、主に裏面にコンタクトしたエミッタ層を導入したことにより、裏面の実効的な表面再結合速度を低減させ、かつ短絡電流の増加を果たしたことによる。また、最適設計により抵抗損が低減できたことによる。

第8章では、5つの異なる裏面構造の両面受光型太陽電池を作製し、光強度を変化させながら表面、裏面、両面特性を測定した結果を示している。両面光照射により変換効率が増加する“両面受光効果”の存在の有無を定量的に調べ、0.2から4 sunの光強度の下では、両面接合型構造を除いて、両面受光効果は存在しないと結論づけている。

第9章では、結晶シリコンの光劣化が両面受光型太陽電池へ及ぼす影響とその対策方法を述べている。ボロン添加CZ基板を用いた裏面フローティングエミッタセルにおいて、裏面光照射時の短絡電流および変換効率が、12時間の擬似太陽光の照射後、約半分に激減し、少数キャリアのライフタイムも同様の減少傾向を示すことを見いだしている。これに対し、MCZおよびガリウム添加CZ基板を用いる太陽電池は光劣化を示さず、これらが両面受光型太陽電池に有用であることを確認している。また、ボロン添加CZ基板の場合、両面接合構造であれば光劣化耐性があることを示している。

第10章は結論で、本研究のまとめと今後の課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、単結晶シリコンを用いる両面受光型太陽電池を高効率化するための基礎的指針をつくり、両面受光型太陽電池に関わる諸現象を解明して、この太陽電池を実用することを目指した研究をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 汎用の太陽電池シミュレータを、マルチスペクトルの光に対してキャリア生成項が計算でき、太陽電池表面および内部反射を考慮して光生成割合が計算できるようにして、三次元解析用に改良した。基礎的な実験結果と数値解析により、裏面構造、表面拡散層プロファイルの設計指針を確立した。
2. ドット型高濃度エミッタをもつ太陽電池のパワー損失の理論式を導出し、その正当性を数値シミュレーションによって検証した。このパワー損失式を用い、新規提案のドット型コンタクトとライン型高濃度エミッタを組み合わせた構造と、これまでに報告のあるドット型コンタクトとドット型高濃度エミッタを組み合わせた構造を比較検討し、本提案の構造が高効率となることを示した。
3. 両面接合3端子型太陽電池を試作し、表面照射下21.3%、裏面照射下19.8%の、両面受光型として世界最高の変換効率を達成した。これは、裏面にコンタクトしたエミッタ層を導入して、裏面の実効的な表面再結合速度を低減し、短絡電流の増加を果たしたことと、最適設計により抵抗損が低減したことによる。
4. 結晶シリコンの光劣化が両面受光型太陽電池へ及ぼす影響とその対策方法を考案した。ボロン添加CZ基板を用いた裏面フローティングエミッタセルでは、裏面光照射時の短絡電流および変換効率が、12時間の擬似太陽光の照射後、約半分に激減し、少数キャリアのライフタイムも同様の減少傾向を示すことを見いだした。これに対し、MCZおよびガリウム添加CZ基板を用いる太陽電池は光劣化を示さず、これらの基板が両面受光型太陽電池に有用であることを見いだした。

以上要するに、本論文は、単結晶シリコンを用いる両面受光型太陽電池の高効率化に関するもので、理論解析、数値実験を通して、最適構造の設計指針を与え、それに適した材料にまで言及しており、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。